

重力モデルに基づいた 道路網の最大OD交通量に関する考察^{*}

A STUDY OF OPTIMAL TRIP MATRICES OF ROAD NETWORKS BASED ON GRAVITY MODEL

飯田恭敬^{**} 李 燕^{***}

By Yasunori IIDA, Yan LI

Excess traffic demand is often considered the only reason for congestion. Poorly distributed demand, however, also causes traffic problems. Therefore, it is important to know the optimal trip matrix (OTM) which uses the present network most efficiently.

Apparently, the OTM changes according to the permitted level of congestion in the network links. This study presents models for determining OTM at two congestion levels, say OTM I and OTM II. OTM I considers the desirable situation without any congestion in the network. OTM II corresponds to the situation where every link is possible to have the heaviest traffic volume under its capacity constraint, which is the upper boundary of the network traffic volume. By examining changes in OTMs according to mobility, some interesting results were obtained including that every node with different location in the network has different change rates of optimal traffic generation and attraction. This study illustrates that it is a useful method for both urban land-use planners and network planners to compare the OTMs of the two levels.

1. はじめに

道路網上において起きる混雑、渋滞の原因は交通需要がネットワーク全体として受け入れ可能な最大交通量を超えていると解釈されることが多いが、現実には、交通需要がネットワーク上に偏在することにより、混雑あるいは渋滞を引き起こす可能性も大きい。交通計画、都市計画においては、現在起きている混雑あるいは渋滞は本当にネットワークの最大交通量を超えているためかどうかについての考察が必要である。もし物理的に最大交通量を超えているなら、ネットワークの増強もしくは都市活動の抑制などの方法を取らなければならない。もしそうでな

ければ、経路誘導、流入制限など、現状ネットワーク上の交通流を円滑にする交通運用、あるいは土地利用計画・誘導による交通分布の改良の効果が期待できる。したがって、道路網の構成から、ネットワーク全体として受け入れ可能な最大交通量、最大交通量に達するための最適ODパターン、各ゾーンの最適な発生・集中交通量の組み合わせを知ることは土地利用の計画・誘導に重要な指針を与えると思われる。また、交通計画においても、代替案の作成、評価にとって重要な基準である。

このような考え方から、本研究では、重力モデルに基づいて、すべてのリンクが円滑な状態を保つときの最大交通量と最適ODパターン、すべてのリンクに最大限の混雑を許したときの最大交通量、最適ODパターン、この2通りの最大交通量および最適ODパターンの求め方を提示する。そして、仮想ネットワークを用いて、最大交通量と最適ODパターンを求め、ネットワークとODパターンの適合性、および土地利用計画・誘導に対する知見についてマ

*キーワード：最大OD交通量，モビリティ

**正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室（〒606-01 京都市左京区吉田本町）

***学生会員 理修 京都大学大学院 工学研究科 博士後期課程（〒606-01 京都市左京区吉田本町）

クロ的な考察を行う。更に、重力モデルのパラメータを変化させ、モデル計算を通じて、最大交通量および最適ODパターンの変化について考察する。本研究では、「最大OD交通量」は、ネットワーク全体で受け入れることのできる最大交通量および最大交通量を出現させる最適ODパターンの2つの意味で用いる。

当然ながら、これらの最大OD交通量は円滑、混雑の基準に関係する。つまり、リンクにおいて、円滑あるいは混雑と判断される状態における最大交通量がそれぞれの最大OD交通量を定める。本研究では、サービスレベルの概念¹⁾を用いて、すべてのリンクにおいて、車両が希望速度あるいは制限速度で走れる最良の交通流状態、つまりHCMにおけるサービスレベルAに相当するレベルで機能する状態を円滑状態とし、その時の最大OD交通量を最大OD交通量Iと呼び、交通量-密度曲線における自由流領域での最悪の交通流状態、つまりサービスレベルFを守れないリンクが出現する時、つまりリンクの容量制限の下で最大限の混雑を許した時の最大OD交通量を最大OD交通量IIと呼ぶ。両者はネットワークの3つの状態、すなわち円滑、混雑、渋滞の境界である。最大OD交通量Iはネットワークの理想状態を維持するための計画目標と考えられる。混雑をなくすことはほとんど不可能な状態になっている現在、ネットワークの物理的な許容量を示す最大OD交通量IIを把握することも、計画者にとって重要であると思われる。

2. 定式化

ここで、道路網の最大OD交通量と従来用いられている道路網容量の相違点について述べておきたい。道路網の容量は、一般に「交通ネットワークの形態および各道路区間の容量が与えられた場合、ODパターンを保持しつつ処理可能な最大トリップ数」と定義されている²⁾。交通計画の面から、土地利用パターンが大きく変化しないと仮定したうえで、容量の計算を通してボトルネックを見つけるということから、ネットワークの改良計画に対しては大きな意味をもっている。また、ネットワーク容量の概念を用いて土地利用の最適計画を目的とした研究も多くなされている³⁾⁴⁾。しかし、道路網容量にはODパ

ターン一定を仮定したことによる問題点も存在する。ODパターンは都市の活動、立地、ネットワークの整備など、多くの常に変化していく動的な要因により規定されるので、ODパターンが保持されるという仮定は現実的ではない。ネットワークの容量はODパターンとの関係において相対的なものである。したがって、本研究では、ODパターンを内生化し、最適ODパターンでの最大交通量を求める。言い換えれば、ネットワーク形状が所与の下で、ネットワークを最も有効に利用できるOD交通量分布を求めるものである。

ODパターンを内生的に取り扱うため、前提条件として、ネットワークにおけるOD間の交通量はあるルールに従うと仮定する必要がある。そうでないと、交通量最大の状態となるのは、リンクの両端に位置するノード間の交通だけからなるOD交通となる場合である。これは現実と反する。本研究では、OD交通量は式(1)のような重力モデルで表される関係をもっていると仮定する：

$$X_{ij} = c_{ij} X_i^\alpha Y_j^\beta \exp(-\gamma t_{ij}) \quad \cdots \cdots (1)$$

ただし、

X_{ij} : ゾーンiからゾーンjまでのOD交通量

X_i : ゾーンiの発生交通量

Y_j : ゾーンjの集中交通量

t_{ij} : ゾーンiからゾーンjまでの空間距離、あるいは走行時間

$c_{ij}, \alpha, \beta, \gamma$: パラメータ

ここで、 t_{ij} がOD間の距離を表す場合に、 γ は空間距離に対する抵抗であり、 t_{ij} がOD間の走行時間を表す場合には γ は走行時間に対する抵抗を意味する。

便宜上、これらのパラメータがODペアijによらず一定であると仮定すると、ゾーンiを出発地とする目的地jの選択確率 h_{ij} は

$$h_{ij} = \frac{Y_j^\beta \exp(-\gamma t_{ij})}{\sum_j Y_j^\beta \exp(-\gamma t_{ij})}$$

となる。

本研究では、このような目的地選択ルールの下での最大OD交通量I, IIの求め方を提案する。

(1) 最大OD交通量I

最大OD交通量Iはすべてのリンクがサービスレ

ベルAを保つときの最大交通量および最適ODパターンと定義する。サービスレベルAの状態では、交通密度が低く、速度は運転者の意志、速度規則、道路の構造条件によって決まる。したがって、最大OD交通量Iの場合では、どのリンクも混雑がないので、リンクの所要時間は一定と仮定し、OD間の交通量はすべて最短経路を流れると仮定する。

最大OD交通量Iは以下のようなLP問題として定式化できる。

【P1】

$$\text{Max } \sum_i X_i \quad \dots\dots(2)$$

Subject to

$$\sum_i \sum_j X_{ij} d_{aij} \leq \mu_a C_a \quad \dots\dots(3)$$

$$X_{ij} = X_i h_{ij} \quad \dots\dots(4)$$

$$h_{ij} = \frac{Y_j \exp(-\gamma t_{ij})}{\sum_j Y_j \exp(-\gamma t_{ij})} \quad \dots\dots(5)$$

$$t_{ij} = \sum_{a \in t_{ij}} t_a \quad \dots\dots(6)$$

$$0 \leq X_i \leq X_i^* \quad \dots\dots(7)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, N$$

ただし、

X_i : ゾーンiの発生交通量

X_{ij} : ゾーンiからゾーンjまでのOD交通量

d_{aij} : ゾーンiからゾーンjまでの交通量がリンクaを通過すれば1、そうでなければ0

C_a : リンクaの容量

μ_a : リンクaにおいて、最良のサービスレベルでの交通量と可能交通量の比

t_a : 最良のサービスレベルでのリンクaの所要時間、あるいはリンク長

h_{ij} : 発ゾーンiから着ゾーンjの選択確率、式(5)より、 $\sum_j h_{ij} = 1.0$ である。

t_{ij} : ゾーンiからゾーンjまでの走行時間あるいは距離

s_{ij} : ゾーンiからゾーンjまでの最短経路

X_i^* : ゾーンiの発生交通量の上限值

N : ゾーン数

式(2)は各ゾーンの発生交通量の和、すなわち総交通量を最大化するという目的関数である。式(3)は各リンクの交通量は最良のサービスレベルのリンク交通量の上限值以下でなければならないことを表し、

その中のゾーンiからjへの交通量 X_{ij} は式(4)により与えられる。式(5)は目的地選択確率である。ネットワーク全体が最良のサービスレベルを保持しているので、ゾーンiからjまでの抵抗値 t_{ij} は式(6)に示すように最短経路の所要時間あるいは距離をとる。式(7)は発生交通量の可能範囲の制約条件であり、非負かつ上限値 X_i^* 以下となっている。この上限値 X_i^* はiゾーンの土地利用の許容量により決められる。

以上の定式において、目的関数は線形であり、ゾーンi, j間のOD交通量を与える式(5)の Y_j が与えられれば制約条件式(4)も線形であるから、問題

【P1】はLP問題として簡単に解くことができる。本研究では、ネットワーク上の都市活動の発生・変化の一般的な過程を考慮して、最初のイテレーションでは、OD交通の目的地選択確率 $h_{ij}^{(0)}$ は目的地までの距離（所要時間）のみに影響されると仮定して、LP問題を解き、繰り返し計算によって、式(5)の Y_j を逐次的に変化させるという方法を用いる。以下のような収束計算法を提案する。

〈Step 1〉OD交通の目的地選択確率 $h_{ij}^{(0)}$ は目的地までの距離（所要時間）のみに影響されると仮定し、式(5)'で目的地選択確率を求め、【P1】の式(5)を式(5)'で置き換えたLP問題を解き、最適解 $X_i^{(0)}$ を求める。式(8)(9)よりOD交通量 $X_{ij}^{(0)}$ 、ゾーンの集中交通量 $Y_j^{(0)}$ を計算する。繰り返し回数 $N=0$ とおく。

$$h_{ij}^{(0)} = \frac{\exp(-\gamma t_{ij})}{\sum_j \exp(-\gamma t_{ij})} \quad \dots\dots(5)'$$

$$X_i^{(N)} = X_i^{(N)} h_{ij}^{(N)} \quad \dots\dots(8)$$

$$Y_j^{(N)} = \sum_i X_{ij}^{(N)} \quad \dots\dots(9)$$

〈Step 2〉OD交通量は距離だけでなく、目的地の吸引力との関係をも考慮するため、式(5)に $Y_j^{(N)}$ を用いて目的地選択確率を更新し、LP問題【P1】を解き、同じように式(8)、(9)を用いてOD分布 $X_{ij}^{(N+1)}$ 、そして集中交通量 $Y_j^{(N+1)}$ を計算する。

〈Step 3〉収束判定。 $|X^{(N+1)} - X^{(N)}| / X^{(N)} \leq \epsilon$ であれば、step 4へ、そうでなければ、 $N=N+1$ として、step 2へ。

〈Step 4〉最大交通量I, OD分布の出力。終了。

(2) 最大OD交通量Ⅱ

リンクの混雑を最大限に許した最大OD交通量Ⅱの場合、最大OD交通ⅠのようにOD交通を全て最短経路に流すのは、混雑に伴う迂回現象などの交通流状態を十分に反映することができなくなる。このとき、完全情報の仮定のもとで、「起終点に存在する可能な経路のうち、利用される経路については所要時間が等しく、利用されないどの経路の所要時間よりも小さい」というWordropの等時間原則に従って均衡配分するのはより現実的であると思われる。

したがって、ネットワークの最大OD交通量Ⅱを求める問題は以下のような2レベル問題として定式化できる。

【P2】

主問題

$$\text{Max} \quad \sum_i X_i \quad \dots\dots\dots (10)$$

Subject to

$$\sum_i \sum_j X_{ij} h_{ij} p_{ij}^* \leq C_a \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$0 \leq X_i \leq X_i^* \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$h_{ij} = \frac{Y_{ij}^* \exp(-\gamma t_{ij})}{\sum_j Y_{ij}^* \exp(-\gamma t_{ij})} \quad \dots\dots\dots (13)$$

子問題

$$\text{Min} \quad \sum_a \int_0^{v_a} t_a(x) dx \quad \dots\dots\dots (14)$$

Subject to

$$\sum_k U_{ij}^k = X_{ij} h_{ij} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$v_a = \sum_i \sum_j \sum_k U_{ij}^k \delta_{akhij} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$U_{ij}^k \geq 0 \quad \dots\dots\dots (17)$$

ただし、

p_{ij}^* : OD交通 i j のリンク a の利用率

v_a : リンク a の交通量

$t_a(\cdot)$: リンク a の走行時間関数

U_{ij}^k : OD交通 i j の k 番目経路の交通量

δ_{akhij} : ODペア i j 間のパス k がリンク a を経由するとき 1, そうでなければ 0

他の記号は最大OD交通量Ⅰの定式化と同様とする。

主問題において、式(10)は各ゾーンの発生交通量の和、すなわち総交通量を最大化するという目的関数である。式(11)は各リンクの容量制限を表し、そ

の中のゾーン i から j への目的地選択率 h_{ij} は式(13)により与えられ、 p_{ij}^* は子問題の解により与えられる。式(12)はノードの発生交通量の範囲で、非負かつ上限値 X_i^* 以下となっている。この上限値 X_i^* は i ゾーンの土地利用の許容量により決められる。子問題は与えられたOD交通量に対する需要固定型の利用者均衡問題である。 h_{ij} を一定とした【P2】は、同一ODペア間に複数経路をもつ都市高速道路の流入台数の最大化を目的関数とする流入制御問題⁵⁾と類似であり、一般に、非線形計画問題のうちの2レベル最適化問題と呼ばれる。

ネットワーク上の都市活動の発生・変化の一般的な過程を考慮したネットワーク最大OD交通量Ⅱのアルゴリズムは以下になる。

〈Step 1〉【P1】と同じように、OD交通の目的地選択率 $h_{ij}^{(0)}$ は目的地までの距離（所要時間）のみに影響されると仮定し、式(5)'で目的地選択確率を求める。

〈Step 2〉式(13)を式(5)'で置き換えた【P2】問題を2レベル最適化問題として解き、最適解 $X_{ij}^{(0)}$ を求める。式(8)(9)よりOD交通量 $X_{ij}^{(0)}$, ゾーンの集中交通量 $Y_{ij}^{(0)}$ を計算する。繰り返し回数 $N=0$ とおく。

〈Step 3〉OD交通量は距離だけでなく、目的地の吸引力との関係をも考慮するため、式(13)を用いて目的地選択確率を変え、更新した2レベル最適化問題【P2】を解き、同じようにOD分布 $X_{ij}^{(N+1)}$, そして集中交通量 $Y_{ij}^{(N+1)}$ を計算する。

〈Step 4〉収束判定: $|X_{ij}^{(N+1)} - X_{ij}^N|/X_{ij}^N \leq \epsilon$ であれば、Step 5 へ。そうでなければ $N=N+1$ において、Step 3 へ。

〈Step 5〉最大OD交通量の出力。終了。

2レベル最適化問題の解法については多くの研究がなされているので、ここで、コンプレックス法を用いた詳細な求解アルゴリズム⁵⁾については省略する。

3. 計算例

図-1のようなすべてのリンクが同じ性質をもっている対称なネットワークを例とする。このネットワークにおいて、いずれのノードもセントロイドとする。ノード間の往復を分けて考えると、リンクは

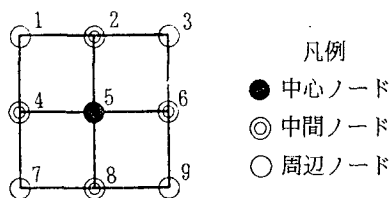


図-1 対象ネットワーク

(Fig.1 The Road Network for Numerical Example)

24本ある。リンクの容量は1000台/時間、自由走行時間は10分とする。すべてのリンクの走行時間はBPR関数で与える。式(3)の μ_a は0.6と設定する。本研究では、最大OD交通量IとIIを比べるために、重力モデルにおける t_{ij} は空間距離の意味を取り、

最短経路の距離として算出する。各リンクの距離はそれぞれ10とする。目的地選択率のパラメータ β は0.5とし、距離に対する抵抗 γ は0.05とする。ネットワークの交通属性を考察するために、すべてのノードあるいはゾーンの発生交通量の上限值は無限大とする。なお、ノード5を中心ノードと言い、ノード2, 4, 6, 8を中間ノードと言い、ノード1, 3, 7, 9を周辺ノードと言う。

ネットワークについての計算の結果、最大OD交通量Iは表-1、最大OD交通量IIは表-2となっている。以下では、通勤時間帯の交通混雑の解決を対象に、最適ODパターンからみた土地利用計画・誘導への知見について述べる。通勤時間帯を考えると、ゾーンの発生交通量は住宅立地の強度、集中交

表-1 最大OD交通量I

(Table.1 The Optimal Trip Matrix I)

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X_i
1	0	228	112	228	142	84	112	84	41	1033
2	98	0	98	73	124	73	36	73	36	613
3	112	228	0	84	142	228	41	84	112	1033
4	98	73	36	0	124	73	98	73	36	613
5	88	178	88	178	0	178	88	178	88	1062
6	36	73	98	73	124	0	36	73	98	613
7	112	84	41	228	142	84	0	228	112	1033
8	36	73	36	73	124	73	98	0	98	613
9	41	84	112	84	142	228	112	228	0	1033
Y_j	623	1023	623	1023	1062	1023	623	1023	623	7643

表-2 最大OD交通量II

(Table.2 The Optimal Trip Matrix II)

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X_i
1	0	285	157	285	194	105	157	105	58	1345
2	287	0	287	192	355	192	106	192	106	1718
3	157	285	0	105	194	285	58	105	157	1345
4	287	192	106	0	355	192	287	192	106	1718
5	199	363	199	363	0	363	199	363	199	2248
6	106	192	287	192	355	0	106	192	287	1718
7	157	105	58	285	194	105	0	285	157	1345
8	106	192	106	192	355	192	287	0	287	1718
9	58	105	157	105	194	285	157	285	0	1345
Y_j	1355	1720	1355	1720	2195	1720	1355	1720	1355	14498

通量は業務地の立地強度と関係する。以下のことが明らかになった。

(1) 図1のネットワークに円滑な交通を保証できる最大交通量Ⅰは7,643台/時間である。渋滞を引き起こさない最大交通量Ⅱは14,498台である。もし交通の発生と都市活動の関係が分かれば、ネットワークの面からみた都市活動の限度が分かる。現実の交通需要をこの2つの境界値と比べることによって、現在起きている混雑あるいは渋滞が土地利用の誘導などにより避けられるかどうかについても検討できる。また、ネットワークを改良する際、最大OD交通量は一つの有用な指標として、代替案の比較に用いられる。

(2) Ⅱのリンク交通量上限値はⅠの1.67倍(1000/600)であるが、Ⅱの最大交通量はⅠの1.90倍になっている(14498/7643)。Ⅱの場合にリンク容量がより効率的に利用できることが分かる。これは、Ⅱの場合では、すべてのリンクに最大限の交通量が流れているのに対して、Ⅰの場合では中間ノードから周辺ノードへのリンクの利用率が低いからである。

(3) Ⅱの場合では、各ノードの発生・集中交通量が一致する傾向があるが(実際、4章の計算結果によると、ノードの発生と集中交通量の差は数値計算の誤差によるものと見て良い)、Ⅰの場合では、中心ノード以外の各ノードにおいては、両者一致しないことが表-1から分かった。その理由について、4章の(3)に詳しく説明する。中心ノードの発生交通量で各ノードの発生交通量を割り、中心ノードの集中交通量で各ノードの集中交通量を割って相対的な大きさを求めると、表-3のようになる。つまり、通勤時間帯では、このネットワークに混雑を引き起こさないために、交通量を発生する住宅は中間ゾーンにおける立地を抑え、主に中心ゾーンと周辺ゾーンに立地する方が有利であることが読み取れる。その反対に、業務地の立地は中心ゾーン、中間ゾーンに重点をおいた方が良い。渋滞を引き起こさないためには、ノードの発生・集中交通量を一致させ、しかも中心ノードから周辺ノードへ、1:0.76(0.78):0.60(0.62)の比で立地するのが望ましい。

(4) 各ノードにおいて、Ⅱの発生交通量からⅠの発生交通量を引き、Ⅱの集中交通量からⅠの集中交通量を引いて、Ⅰの状態からⅡの状態への余裕が表-

4に示されている。ノードのネットワークにおける位置によって、状態Ⅰから状態Ⅱまでの開発余裕が違ってくる。この特徴を理解することも計画者にとって重要であると思われる。

表-3 ノード間発生・集中交通量の比較
 (Table.3 A comparison of O and D between Nodes

		中心ノード	中間ノード	周辺ノード
Ⅰ	O	1.00	0.58	0.97
	D	1.00	0.96	0.59
Ⅱ	O	1.00	0.76	0.60
	D	1.00	0.78	0.62

表-4 状態ⅡとⅠの発生・集中交通量差
 (Table.4 The Difference of O and D between State Ⅱ and State Ⅰ)

	中心ノード	中間ノード	周辺ノード
O	1186	1105	312
D	1133	697	732

4. モビリティ向上による最大OD交通量の変化

乗用車の普及により、個人レベルでのモビリティが向上し、自動車利用による長距離トリップの割合が増加する傾向がある。この傾向に対して、インフラ側すなわちネットワークの対応力を明らかにするために、本章では、式(1)においてモビリティを表すパラメータを変化させ、最大OD交通量への影響について検討する。

γを0.01から0.1の範囲で変化させた。0.1の場合では、隣接ゾーン間の交通が多く、モビリティが低い状態を表す。0.01の場合では、距離の抵抗があまり見られず、モビリティの高い状態を表す。γの値が小さい方が同一の距離であってもモビリティが高くなることを表している。表-5はγの変化による最大交通量Ⅰ、Ⅱ、それぞれの最適ODパターンでの各ノードの発生・集中交通量である。ⅠとⅡの状態を比較して、以下のことが明らかになった。

(1) モビリティの向上につれて、最大OD交通量Ⅰ、Ⅱがともに減少することが分かった。つまり、このネットワークにおいて、総交通需要量が増加しなくても、モビリティの向上につれて、混雑・渋滞が

表-5 γ による最大OD交通量と最適ODパターンの変化

(Table.5 Main Elements of Optimal Trip Matrices according to the change of γ)

γ	交通量 (I)		中心 ノード	中間 ノード	周辺 ノード	交通量 (II)		中心 ノード	中間 ノード	周辺 ノード	交通量 II-I
0.10	9309	O	1531	853	1091	16677	O	3153	2098	1283	7368
		D	1531	1351	594		D	3118	2021	1369	
0.07	8126	O	1205	679	1051	15104	O	2604	1798	1303	6978
		D	1205	1134	596		D	2324	1805	1366	
0.05	7643	O	1062	613	1033	14498	O	1939	1669	1420	6855
		D	1062	1023	623		D	1922	1661	1432	
0.03	7107	O	918	532	1015	13120	O	1857	1553	1263	6013
		D	918	920	627		D	1812	1528	1299	
0.01	6509	O	771	460	996	12399	O	1497	1392	1333	5890
		D	771	805	651		D	1489	1403	1324	

起きる可能性がある。これは長距離トリップの割合が増加するからと思われる。

(2) モビリティの向上に伴って、各ノードの最適ODパターンでの発生・集中交通量も変化する。 γ が0.1から0.01へ変化した場合の各ノードでの変化を表-6にまとめる。中心ノードと中間ノードにおける発生・集中交通量の著しい減少が見られる。また、周辺ノードの変化率が小さい。したがって、モビリティの変化に対して、中心ノードと中間ノードの立地の適応が最も重視されるべきであることが分かった。

表-6 γ の変化(0.10から0.01)による発生・集中交通量の変化

(Table.6 The Changes of O and D as γ changes from 0.10 to 0.01)

	最大 交通量		中心 ノード	中間 ノード	周辺 ノード
I	-29%	O	-50%	-46%	-9%
		D	-50%	-40%	+10%
II	-26%	O	-53%	-34%	+4%
		D	-52%	-31%	-3%

(3) IIの場合ではゾーンの発生交通量と集中交通量が一致すると見られるが、Iの場合では中心ノード以外は、ノードの発生・集中交通量は一致しない。その理由は以下のように解釈できる。

Iの場合に、重力モデルで与えた目的地選択確率はノードの集中交通量、位置により定められ、しかもノード間の経路が一本しかないので、中心ノードは最も選択されやすい。したがって、中心ノードと中間ノード間のリンクは最大OD交通量を決める際ボトルネックになる。中間ノードの発生交通量は半分以上このボトルネックを利用し、しかも中間ノードの通過交通量も多いので、中間ノードの発生交通量は大きくなることができない。しかし、中間ノードへの集中交通は隣接の二つの周辺ノードからの交通量の割合が多い。この周辺ノードからの交通量はボトルネックに影響されないで、中間ノードの集中交通量が大きくなることができ。中心ノードにおいては、発生、集中ともボトルネックに制約されるので、発生交通量と集中交通量が一致する理由になる。

IIの場合では、利用者均衡の下で、迂回交通が可能になり、リンク容量を十分に利用できるので、各ノードの発生交通量と集中交通量が一致することが理解できる。

(4) 図-2, 3に示しているように、モビリティの向上に伴って、Iの場合では、発生交通量は依然として中心と周辺が主であるが、集中交通量は徐々に均等になる傾向がある。IIの場合でもより均等的なOD分布が望ましくなる。Iの場合、グラビティモデルで目的地選択確率が定められているので、モビリティが向上しても、中間ノードから中心ノードへ

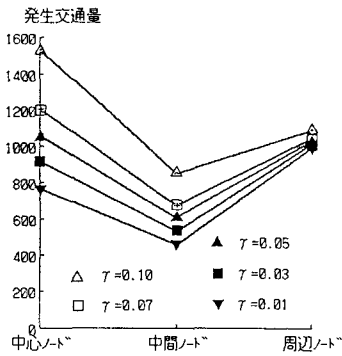


図-2 ノードの発生交通量の比較 (I の場合)
(Fig.2 Generations of Node in OTM I)

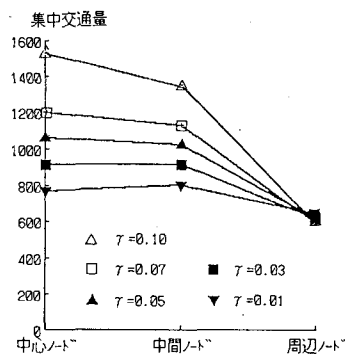


図-3 ノードの集中交通量の比較 (I の場合)
(Fig.3 Attractions of Node in OTM I)

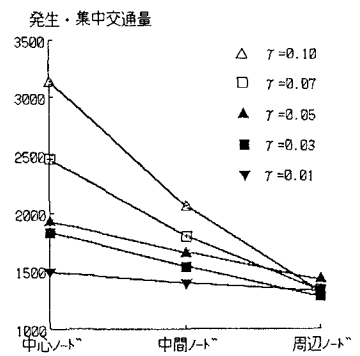


図-4 ノードの発生集中交通量の比較 (II の場合)
(Fig.4 Generations or Attractions of Node in OTM II)

のリンクのボトルネックの影響が変わらない。一方、I の場合の集中交通量およびII の場合の発生・集中交通量はボトルネックに影響されないし、しかもモビリティの向上により選択される確率が均等になるので、各ノードが均等になるような傾向がある。

(5) 図-2～4 から、周辺ノードの発生・集中交通量の γ の変化に伴う変化が小さいことが分かった。この理由は2つあげられる。1) 重力モデルにおいて、距離が大きくなるほど γ の変化による影響が小さくなる性質がある。周辺ノードは各ノードへの距離分布が中間、中心ノードから各ノードへの距離分布より大きいので、 γ による影響は小さい。2) 周辺ノードはほかのノードに比べ、ボトルネックからの影響は最も小さい。

5. おわりに

本研究では、すべてのリンクにおいて円滑な交通を保つ最大交通量と、すべてのリンクに最大限の混雑を許した最大交通量の2通りの最大OD交通量とそれぞれの最適ODパターンの求め方を提示した。そして、数値計算例で、その土地利用計画・誘導の面からの意義を検討した。更に、モビリティの向上を考慮して、最大交通量と最適ODパターンの変化を考察し、有意義な結果を得た。今後の課題としては、理論と応用の両面から進めようと考えている。(1) いくつかの代表的な形状のネットワークを取り上げ、最大OD交通量を一つの興味深い指標として、

他の指標と合わせて、総合的な分析・評価を行う。

(2) 実際の道路ネットワークを対象として、現状ODパターンと最適ODパターンを比較し、(1)の結果を参考にして、土地利用計画、交通計画の両面から、ネットワークの評価、構成、改良について研究する。

最後に、本研究の遂行にあたり、多くのご示唆とご協力をくださった京都大学工学部内田敬助手に感謝の意を記する。

【参考文献】

- 1) 佐佐木綱監修, 飯田恭敬編著: 交通工学, 国民科学社, pp.149-158, 1992.
- 2) 土木学会土木計画学研究委員会: 土木計画学講習会テキスト, 交通ネットワークの分析と計画ー最新の理論と応用ー, pp.121-138, 土木学会, 1987.
- 3) 朝倉康夫: 道路網の最大容量からみた都市内ゾーンの活動許容量に関する実証的研究, 昭和63年度第23回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.385-390, 1988.
- 4) 梶谷・斉藤: 道路網容量から見た土地利用活動の立地配分, 交通工学, Vol.22, No.4, pp.9-20, 1987.
- 5) 飯田・朝倉・田中: 複数経路を持つ都市高速道路の最適流入制御方法, 土木計画学研究・講演集, No.12, pp.305-312, 1989.